

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-317705

(43)公開日 平成 6 年(1994)11月15日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 5/18		9018-2K		
6/00				
6/28	D	8707-2K		
		6920-2K	G 0 2 B 6/ 00	C
審査請求 未請求 請求項の数31 O L (全 11 頁)				

(21)出願番号 特願平6-37400

(22)出願日 平成 6 年(1994) 3 月 8 日

(31)優先権主張番号 特願平5-48838

(32)優先日 平 5 (1993) 3 月10日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 飯田 正憲

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 朝倉 宏之

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

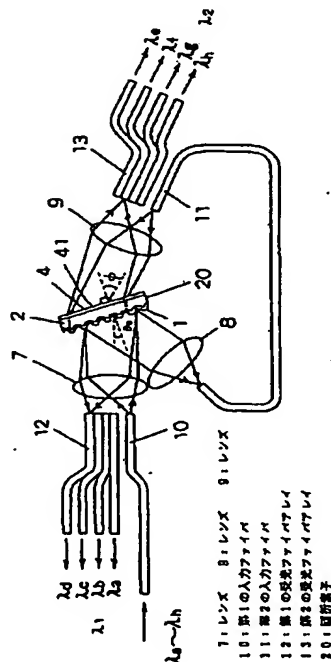
(74)代理人 弁理士 松田 正道

(54)【発明の名称】 回折素子及びそれを用いた光合分波装置

(57)【要約】

【目的】 1つの素子で複数の波長帯に対して使用することができる回折素子を提供し、併せてこの回折素子の効果を用いた光合分波装置を提供する。

【構成】 回折素子は、第1及び第2の面を有する透明基板(2)と、第1の面に刻印された周期的な溝と、その上に設けられた反射膜(1)と、第2の面に設けられた反射防止膜(4)とを有し、この回折素子を有する合分波装置は、回折素子の第1の入射面(反射膜が設けられた第1の面の側)に光を入射させる第1の光入力装置(10)と、第1の入射面に入射して回折された光を受け取る第1の受光装置(12)と、第1の入射面に入射して反射された光を受け取り、回折素子の第2の入射面(反射防止膜が設けられた面)に入射させる第2の光入力装置(11)と、第2の入射面に入射して回折された光を受け取る第2の受光装置(13)と、を備えている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1及び第2の面を有する透明基板と、
該第1の面に刻印された周期的な溝と、
該周期的な溝が刻印された該第1の面上に設けられた反射膜と、
を有し、
該周期的な溝と該反射膜とから回折格子が形成されていることを特徴とする回折素子。

【請求項2】 第2の面には、反射防止膜が形成されていることを特徴とする請求項1に記載の回折素子。

【請求項3】 前記反射膜の形状は、前記溝に平行な所定の軸を中心とした実質上180度の回転に対して実質的に対称であることを特徴とする請求項1に記載の回折素子。

【請求項4】 前記第1の面と前記第2の面とは実質的に平行であることを特徴とする請求項1に記載の回折素子。

【請求項5】 前記第1の面と前記第2の面とは所定の角度をなしていることを特徴とする請求項1に記載の回折素子。

【請求項6】 前記反射膜の上に設けられた透明保護層を有することを特徴とする請求項1に記載の回折素子。

【請求項7】 前記透明保護層の上に設けられたもう一つの反射防止膜を更に有することを特徴とする請求項6に記載の回折素子。

【請求項8】 前記透明基板は、各々異なる屈折率を有する複数の部分を有することを特徴とする請求項1に記載の回折素子。

【請求項9】 前記透明基板は、各々異なる屈折率を有する複数の部分を有することを特徴とする請求項6に記載の回折素子。

【請求項10】 前記透明保護層は、各々異なる屈折率を有する複数の部分を有することを特徴とする請求項6に記載の回折素子。

【請求項11】 前記透明保護層は、各々異なる屈折率を有する複数の部分を有することを特徴とする請求項9に記載の回折素子。

【請求項12】 前記透明保護層の上に設けられたもう一つの反射防止膜を、更に有することを特徴とする請求項9、10、又は11に記載の回折素子。

【請求項13】 第1及び第2の入射面を有する回折素子を有する合分波装置であって、
該回折素子の該第1の入射面に光を入射させる第1の光入力手段と、

該第1の入射面に入射して該回折素子によって回折された光を受け取る第1の受光手段と、

該第1の入射面に入射して該回折素子によって反射された光を受け取り、該回折素子の該第2の入射面に入射させる第2の光入力手段と、

該第2の入射面に入射して該回折素子によって回折され

た光を受け取る第2の受光手段と、
を備えたことを特徴とする合分波装置。

【請求項14】 前記回折素子は、第1及び第2の面を有する透明基板と、該第1の面に刻印された周期的な溝と、該周期的な溝が刻印された該第1の面上に設けられた反射膜とを有しており、

前記第1の入射面は、該反射膜が設けられた該第1の面に対応し、

前記第2の入射面は、該第2の面に対応していることを特徴とする請求項13に記載の合分波装置。

【請求項15】 前記第2の面には、反射防止膜が形成されていることを特徴とする請求項14に記載の合分波装置。

【請求項16】 前記回折素子の前記反射膜の形状は、前記溝に平行な所定の軸を中心とした180度の回転に対して実質的に対称であることを特徴とする請求項14に記載の合分波装置。

【請求項17】 前記回折素子は、前記反射膜の上に設けられた透明保護層を有していることを特徴とする請求項14に記載の合分波装置。

【請求項18】 前記回折素子の前記第1の入射面に関してリトロ配置された第1のレンズと、該回折素子の前記第2の入射面に関してリトロ配置された第2のレンズと、を備えていることを特徴とする請求項14に記載の合分波装置。

【請求項19】 前記第1及び第2の光入力手段は、各々、前記第1の入射面及び前記第2の入射面に入射する前記光の入射角 θ が、リトロ角 θ_i として、

$$\theta_i - 5^\circ \leq \theta \leq \theta_i + 5^\circ$$

であるように該光を入射させ、

該第1の入射面に入射して回折された該光の波長 λ_1 、及び前記反射された光の波長 λ_2 （但し $\lambda_2 > \lambda_1$ ）は、前記透明基板の屈折率が n 、前記溝の間隔（ピッチ）が d であるとき、

$$\lambda_2 - \lambda_1 / 2 > d$$

$$n = \lambda_2 / \lambda_1$$

の関係を満たしていることを特徴とする請求項14に記載の合分波装置。

【請求項20】 前記回折素子の前記第1の入射面に関してリトロ配置された第1のレンズと、該回折素子の前記第2の入射面に関してリトロ配置された第2のレンズと、を備えていることを特徴とする請求項17に記載の合分波装置。

【請求項21】 前記第1及び第2の光入力手段は、各々、前記第1の入射面及び前記第2の入射面に入射する前記光の入射角 θ が、リトロ角 θ_i として、

$$\theta_i - 5^\circ \leq \theta \leq \theta_i + 5^\circ$$

であるように該光を入射させ、

該第1の入射面に入射して回折された該光の波長 λ_1 、及び前記反射された光の波長 λ_2 （但し $\lambda_2 > \lambda_1$ ）は、

3

前記透明基板の屈折率が n 、前記透明保護層の屈折率が n_1 、前記溝の間隔（ピッチ）が d であるとき、

$$\lambda_2 - \lambda_1 / 2 > n_1 \cdot d$$

$$n = n_1 \cdot \lambda_2 / \lambda_1$$

の関係を満たしていることを特徴とする請求項 17 に記載の光合分波装置。

【請求項 22】 第 1 及び第 2 の入射面を有する回折素子を有する合分波装置であって、

該回折素子に光を入射させる光入力手段と、

該回折素子によって回折された光を、該回折光の波長毎に受け取る受光手段と、

該回折素子、該光入力手段、及び該受光手段のうちの少なくとも 1 つの位置及び／又は方向を変更するための配置手段と、

を備えたことを特徴とする光合分波装置。

【請求項 23】 前記配置手段は、前記光入力手段からの光を前記回折素子の前記第 1 の入射面に入射させる第 1 の配置と、該光入力手段からの光を前記回折素子の前記第 2 の入射面に入射させる第 2 の配置と、を可能とすることを特徴とする請求項 22 に記載の光合分波装置。

【請求項 24】 前記光入力手段からの光をコリメートし、前記回折素子によって反射された光を前記受光手段に集光するためのレンズを備えており、

前記第 1 の配置は、該回折素子の前記第 1 の入射面に関するリトロ配置であり、前記第 2 の配置は、該回折素子の前記第 2 の入射面に関するリトロ配置であることを特徴とする請求項 23 に記載の光合分波装置。

【請求項 25】 前記配置手段は、前記回折素子を回転させる機構を備え、該回折素子を回転することによって、前記第 1 及び第 2 の配置の一方から他方へ配置替えを行うことを特徴とする請求項 23 に記載の光合分波装置。

【請求項 26】 前記回折素子は、第 1 及び第 2 の面を有する透明基板と、該第 1 の面に刻印された周期的な溝と、該周期的な溝が刻印された該第 1 の面上に設けられた反射膜とを有しており、

前記第 1 の入射面は、該反射膜が設けられた該第 1 の面に対応し、

前記第 2 の入射面は、該第 2 の面に対応していることを特徴とする請求項 23 に記載の光合分波装置。

【請求項 27】 前記第 2 の面には、反射防止膜が形成されていることを特徴とする光合分波装置。

【請求項 28】 前記回折素子の前記反射膜の形状は、前記溝に平行な軸を中心とした 180 度の回転に対して実質的に対称であることを特徴とする請求項 26 に記載の光合分波装置。

【請求項 29】 前記回折素子は、前記反射膜の上に設けられた透明保護層を有していることを特徴とする請求項 26 に記載の光合分波装置。

【請求項 30】 前記光入力手段は、前記第 1 の入射面

4

及び前記第 2 の入射面に入射する光の各々の入射角 θ が、リトロ角 θ_L として、

$$\theta_L - 5^\circ \leq \theta \leq \theta_L + 5^\circ$$

であるように該光を入射させ、

該第 1 の入射面に入射して回折される光の波長 λ_1 、及び該第 2 の入射面に入射して回折される光の波長 λ_2 （但し $\lambda_2 > \lambda_1$ ）は、前記透明基板の屈折率が n 、前記溝の間隔（ピッチ）が d であるとき、

$$\lambda_2 - \lambda_1 / 2 > d$$

$$n = \lambda_2 / \lambda_1$$

の関係を満たしていることを特徴とする請求項 26 に記載の光合分波装置。

【請求項 31】 前記光入力手段は、前記第 1 の入射面及び前記第 2 の入射面に入射する前記光の入射角 θ が、リトロ角 θ_L として、

$$\theta_L - 5^\circ \leq \theta \leq \theta_L + 5^\circ$$

であるように該光を入射させ、

該第 1 の入射面に入射して回折される光の波長 λ_1 、及び該第 2 の入射面に入射して回折される光の波長 λ_2 （但し $\lambda_2 > \lambda_1$ ）は、前記透明基板の屈折率が n 、前記透明保護層の屈折率が n_1 、前記溝の間隔（ピッチ）が d であるとき、

$$\lambda_2 - \lambda_1 / 2 > n_1 \cdot d$$

$$n = n_1 \cdot \lambda_2 / \lambda_1$$

の関係を満たしていることを特徴とする請求項 27 に記載の光合分波装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、分光器や波長多重光通信システムに用いる回折素子及びそれを用いた光合分波装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、回折素子やそれを用いた光合分波装置は、波長多重光通信システムのキーデバイスとして様々な形態が提案され検討されている。特に、高密度波長多重光通信では、用いられる光の波長間隔が狭く、多数の波長が多重されるため、回折素子を用いた光合分波器が有望視されている。しかしながら、広い波長範囲にわたって高い回折効率を有する回折素子は一般にないのが現状である。

【0003】

図 9 は、反射型の回折素子で、格子溝の断面形状が鋸歯状であるものについての回折効率の波長依存性を示している。図 9 は、R. Petit: Electromagnetic Theory of Gratings <Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1980>、Chap. 6, p. 164 の文献より引用している。図 9 において、TE 偏光は、回折素子に入射する光のうち、偏光方向が格子溝方向に平行な成分であり、TM 偏光は、回折素子に入射する光のうち、偏光方向が格子溝方向に垂直な成分である。図 9 から分かるように、使用される入射光の波長、あるいは入射光の波長

と格子間隔との比、及び入射光の偏光方向により、回折効率が大きく影響される。図9から、回折効率が高く、かつTE偏光とTM偏光の回折効率の差異が小さい波長範囲は非常に狭いことがわかる。例えば、回折効率が85%以上で両偏光の回折効率の差異が10%以内の波長範囲は、格子溝間隔を0.8 μm の回折格子で換算した場合、40nm以下である。

【0004】そこで、使用される光の波長を調整するために、このような回折素子の回折格子の格子溝の上に透光材を設ける提案もなされている。図10はその一例を示している。基板51上に、格子溝を刻印した反射型回折基板52が形成され、その上に透光材53が形成されている。

【0005】このような構成の回折素子に於いては、光は回折素子表面54より入射し、透過材53を介して反射型回折基板52の回折格子により回折される。回折された光は、再び透過材53を介して回折格子表面54より出射する。透過材53の屈折率を n とすれば、透過材53中の光は、等価的に $1/n$ の波長を有することになる。従って、透光材53の屈折率を調整することにより、入射光の回折時の波長を変化させることができるので、図9に示される回折効率の高い波長帯で光を回折させることができる(例えば、特開昭62-61002号公報参照)。

【0006】また、分散する波長領域が異なる2つの回折格子を組み合わせて用いることにより、2種類の波長帯で光合分液を行う装置も提案されている。例えば、特開平4-282603号公報には、図11に示すような光合分液器が記載されている。入力ファイバ61からの波長多重された光は、レンズ63を介して第1の回折格子64に入射する。波長多重された光のうち、短波長領域の光 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ は、第1の回折格子64によって波長分散され、レンズ63を介して、各々、出力ファイバ62a \sim 62cに結合する。一方、長波長領域の光 $\lambda_3 \sim \lambda_4$ は、第1の回折格子64では波長分散されずに全反射される。全反射された光は、第2の回折格子65で波長分散されて第1の回折格子64に入射する。入射した光は第1の回折格子64で再び全反射され、レンズ63を介して、各々、出力ファイバ62c \sim 62fに結合する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の従来技術においては、図10のものにおいては、回折素子表面34から透過材33を介して光が入射するため、入射光の分光特性を長波長側に調整することはできるが、反射型回折基板32の本来持つ分光特性自体は、透光材33を設けることによって失われてしまう。また、さらに広範囲な波長範囲、例えば0.8 μm 、1.3 μm 、1.55 μm 帯の光に対しても良好な分光特性を得るためには、各々の波長帯に適した屈折率を有する異な

った透光材33を配した回折素子を、別々に用意しなければならないといった問題点を有している。また、上述の従来技術の図11のものにおいても、やはり、2種類の回折格子64及び65を用意しなければならない。回折格子は高価であり、1つの装置に2つの回折格子を用いることは装置全体の価格を低減する妨げとなっている。

【0008】また、特に、図11のもののような場合には、2つの回折格子の配置を正確に調節するための装置が必要となり、装置は更に高価なものとならざるを得ない。

【0009】本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その目的とするところは、1つの素子で複数の波長帯に対して使用することができる回折素子を提供し、併せてこの回折素子の効果を用いた光合分液装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の回折素子は、第1及び第2の面を有する透明基板と、該第1の面に刻印された周期的な溝と、該周期的な溝が刻印された該第1の面上に設けられた反射膜とを有し、該周期的な溝と該反射膜とから回折格子が形成されており、そのことにより上記目的が達成される。

【0011】また、第2の面には、反射防止膜が形成されていてもよい。

【0012】前記反射膜の形状は、好ましくは、前記溝に平行な軸を中心とした180度の回転に対して実質的に対称である。

【0013】本発明の1つの実施例によれば、前記第1の面と前記第2の面とは実質的に平行である。

【0014】本発明の他の実施例によれば、前記第1の面と前記第2の面とは所定の角度をなしている。

【0015】本発明の回折素子は、前記反射膜の上に設けられた透明保護層を有していてもよい。

【0016】本発明の回折素子は、前記透明保護層の上に設けられたもう一つの反射防止膜を更に有していてもよい。

【0017】前記透明基板は、各々異なる屈折率を有する複数の部分を有していてもよく、前記透明保護層は、各々異なる屈折率を有する複数の部分を有していてもよい。

【0018】本発明による光合分液装置は、第1及び第2の入射面を有する回折素子を有しており、該回折素子の該第1の入射面に光を入射させる第1の光入力手段と、該第1の入射面に入射して該回折素子によって回折された光を受け取る第1の受光手段と、該第1の入射面に入射して該回折素子によって反射された光を受け取り、該回折素子の該第2の入射面に入射させる第2の光入力手段と、該第2の入射面に入射して該回折素子によって回折された光を受け取る第2の受光手段と、を備え

ており、そのことにより上記目的が達成される。

【0019】本発明の1つの実施例によれば、前記回折素子は、第1及び第2の面を有する透明基板と、該第1の面に刻印された周期的な溝と、該周期的な溝が刻印された該第1の面上に設けられた反射膜とを有しており、前記第1の入射面は、該反射膜が設けられた該第1の面に対応し、前記第2の入射面は、第2の面に対応している。

【0020】また、第2の面には、反射防止膜が形成されていてもよい。

【0021】前記回折素子の前記反射膜の形状は、好ましくは、前記溝に平行な所定の軸を中心とした180度の回転に対して実質的に対称である。

【0022】前記回折素子は、前記反射膜の上に設けられた透明保護層を有してもよい。

【0023】本発明の合分波装置は、前記回折素子の前記第1の入射面に関してリトロー配置された第1のレンズと、該回折素子の前記第2の入射面に関してリトロー配置された第2のレンズと、を備えていてもよい。

【0024】好ましくは、前記第1及び第2の光入力手段は、各々、前記第1の入射面及び前記第2の入射面に入射する前記光の入射角 θ が、リトロー角 θ_L として、 $\theta_L - 5^\circ \leq \theta \leq \theta_L + 5^\circ$ であるように該光を入射させ、該第1の入射面に入射して回折された該光の波長 λ_1 、及び前記反射された光の波長 λ_2 （但し $\lambda_2 > \lambda_1$ ）は、前記透明基板の屈折率が n 、前記溝の間隔（ピッチ）が d であるとき、 $\lambda_2 - \lambda_1 / 2 > d$ 、及び $n = \lambda_2 / \lambda_1$ の関係を満たしている。

【0025】また、好ましくは、該第1の入射面に入射して回折された該光の波長 λ_1 、及び前記反射された光の波長 λ_2 （但し $\lambda_2 > \lambda_1$ ）は、前記透明基板の屈折率が n 、前記透明保護層の屈折率が n_1 、前記溝の間隔（ピッチ）が d であるとき、 $\lambda_2 - \lambda_1 / 2 > n_1 \cdot d$ 、及び $n = n_1 \cdot \lambda_2 / \lambda_1$ の関係を満たしている。

【0026】本発明の合分波装置は、第1及び第2の入射面を有する回折素子を有しており、該回折素子に光を入射させる光入力手段と、該回折素子によって回折された光を、該回折光の波長毎に受け取る受光手段と、該回折素子、該光入力手段、及び該受光手段のうちの少なくとも1つの位置及び／又は方向を変更するための配置手段とを備えており、そのことにより上記目的が達成される。

【0027】本発明の1つの実施例によれば、前記配置手段は、前記光入力手段からの光を前記回折素子の前記第1の入射面に入射させる第1の配置と、該光入力手段からの光を前記回折素子の前記第2の入射面に入射させる第2の配置と、を可能とする。

【0028】本発明の合分波装置は、好ましくは、前記光入力手段からの光をコリメートし、前記回折素子によって反射された光を前記受光手段に集光するためのレン

ズを備えており、前記第1の配置は、該回折素子の前記第1の入射面に関するリトロー配置であり、前記第2の配置は、該回折素子の前記第2の入射面に関するリトロー配置である。

【0029】前記配置手段は、前記回折素子を回転させる機構を備え、該回折素子を回転することによって、前記第1及び第2の配置の一方から他方へ配置替えを行ってもよい。

【0030】本発明の1つの実施例に於いては、前記回折素子は、第1及び第2の面を有する透明基板と、該第1の面に刻印された周期的な溝と、該周期的な溝が刻印された該第1の面上に設けられた反射膜とを有しており、前記第1の入射面は、該反射膜が設けられた該第1の面に対応し、前記第2の入射面は該第2の面に対応している。

【0031】また、第2の面に反射防止膜が形成されていてもよい。

【0032】好ましくは、前記回折素子の前記反射膜の形状は、前記溝に平行な軸を中心とした180度の回転に対して実質的に対称である。

【0033】前記回折素子は、前記反射膜の上に設けられた透明保護層を有していてもよい。

【0034】好ましくは、前記光入力手段は、前記第1の入射面及び前記第2の入射面に入射する光の各々の入射角 θ が、リトロー角 θ_L として、 $\theta_L - 5^\circ \leq \theta \leq \theta_L + 5^\circ$ であるように該光を入射させ、該第1の入射面に入射して回折される光の波長 λ_1 、及び該第2の入射面に入射して回折される光の波長 λ_2 （但し $\lambda_2 > \lambda_1$ ）は、前記透明基板の屈折率が n 、前記溝の間隔（ピッチ）が d であるとき、 $\lambda_2 - \lambda_1 / 2 > d$ 、及び $n = \lambda_2 / \lambda_1$ の関係を満たしている。

【0035】また、好ましくは、該第1の入射面に入射して回折される光の波長 λ_1 、及び該第2の入射面に入射して回折される光の波長 λ_2 （但し $\lambda_2 > \lambda_1$ ）は、前記透明基板の屈折率が n 、前記透明保護層の屈折率が n_1 、前記溝の間隔（ピッチ）が d であるとき、 $\lambda_2 - \lambda_1 / 2 > n_1 \cdot d$ 、及び $n = n_1 \cdot \lambda_2 / \lambda_1$ の関係を満たしている。

【0036】

【作用】上述の構成により、本発明の回折素子は、回折素子の第1の入射面（反射膜が設けられた側：表の面）に入射して回折する光と、第2の入射面（反射防止膜が設けられた側：裏の面）に入射し、透明基板を介して回折する光との、2つの異なる波長帯の光を波長分散する。反射膜を、「表」と「裏」とで対称な形状に形成することにより、第1及び第2の入射面に入射する各々の光は、実質的に同一の分光特性（回折効率等）で波長分散される。透明基板の屈折率を変化させることによって、第2の入射面に入射して回折される光の波長を調整できる。

【0037】透明基板（及び／又は透明保護層）が、異なる屈折率を持つ複数の部分を有している場合には、更に異なる波長帯の光をも回折させて波長分散できる。

【0038】波長多重された光（ λ_1 及び λ_2 ）が第1の入射面に入力された場合、波長等の条件を適切に選んで於くことにより、一方の波長帯（ λ_1 ）の光は、回折されずに全反射される。

【0039】本発明の回折素子を用いた光合分波装置によれば、第1の光入力装置から上記の第1の入射面に入射した波長多重光は、ある波長帯（ λ_1 ）の光が波長分散され、第1の受光装置で受け取られる。他の波長帯の光は回折されず、一定の条件をみたす場合には反射膜によって全反射される。全反射された光（ λ_2 ）は、回折素子の第2の入射面に導かれ、透明基板を介して同様に回折される。第2の入射面に入射して波長分散された光は第2の受光装置で受け取られる。

【0040】本発明の回折素子を用いた他の光合分波装置は、回折素子、光入力装置、受光装置のうち少なくとも1つの位置及び／又は方向を変える配置機構を設けることにより、回折すべき波長に応じて回折素子の第1又は第2の入射面を使い分けることにより、複数の波長帯の光に対して波長分散を行う。

【0041】特に、回折素子を回転するための回転機構部を設けた場合には、所望の波長の光が受光装置に集光するように、回転機後部により回折格子の角度を調節する。特に波長多重光のうち、長波長側（ λ_2 ）の光に対して波長分散を行う場合は、回折素子の第2の入射面（裏面）に光が入射するように、回転機構部により回折素子を裏返すように回転させ、受光装置に所望の波長の光が集光するように角度を調整する。

【0042】

【実施例】以下に、本発明を実施例について、図面を参照しながら説明する。

【0043】（実施例1）図1（a）は本発明の第1の実施例における回折素子30の構成を示すものである。本実施例に於ける回折素子は、透明な基板2の一方の表面31に、ピッチdで格子溝が刻印され、その上に反射膜1が形成されている。反射膜1は、反射膜としての特性を有しつつ、膜厚は十分に薄く形成される。例えば、反射膜1は、アルミニウムなどの反射率の高い金属の膜、あるいは誘電体多層膜を格子表面31に設けることにより形成できる。反射膜1は、膜厚が50～300nm、好ましくは100nm程度であれば格子溝の形状を損なうことなく均一に形成することができる。透明基板2は、代表的にはガラスが用いられ、使用する光の波長に対して透光性を有する基板材料であればよい。以下、この明細書に於いて「透明」というときには、使用する光の波長に対して透光性を有することを意味する。

【0044】表面31の格子溝の形状は、好ましくは、表面31に形成される回折格子が、その表裏両面に対称

となるように刻印される。ここに、対称とは、格子溝に平行な所定の軸を中心とした実質上180度の回転に対して重なるような、実質的に対称の形状をしている。例えば、図1（a）に於いては、格子溝は正弦波形状に示され、所定の軸は、0度のところである。もっとも、格子溝の形状はこれに限られるものではない。

【0045】次に、この回折素子30の動作を図1

（a）を参照しながら説明する。図1（a）に示される透明基板2の上方から、反射膜1に波長 λ_1 の光が角度 θ_0 で入射した場合、回折素子30は、反射型の回折格子として機能する。このとき、1次回折される回折光の角度 α は、下記の式（1）で表される。ここで、回折角 α は、回折光が格子面の法線となす角である。尚、以下の議論では、1次の回折光について説明する。

【0046】

$$\sin \theta_0 + \sin \alpha = \lambda_1 / d \quad (1)$$

特に、回折素子を30リトロ配置（Littrow mountinq）する場合には、入射角 θ_0 と回折角 α とがほぼ等しくなり、回折効率を最大にすることができる。このとき、近似的に $\theta_0 = \alpha = \theta_1$ （ θ_1 ：リトロ角）とすれば、式（1）より、

$$\sin \theta_0 = \lambda_1 / (2d) \quad (2)$$

となる。光の入射角 θ_0 がリトロ角 θ_1 を中心として±5度程度の範囲内にあれば、回折効率が高く、回折効率の偏角依存性も少ない。この条件の下で、角度 θ_0 で回折素子30に入射した光は、波長 λ_1 に応じた回折角 α で回折される。例えば、入射光が波長 λ_1 、近傍の複数の波長 λ_2 、 λ_3 、・・・の光を含んでいる場合、各々の波長に応じた角度 α_2 、 α_3 、・・・で回折される。

【0047】一方、図1（a）に於いて、透明基板2の下方から、波長 λ_2 の光が、透明基板2を介して反射膜1に入射する場合を考える。波長 λ_2 の光は、透明基板2の裏面32に角度 ϕ で入射し、透明基板2中で、角度 θ_0' で反射膜1に入射する。透明基板2の屈折率をnとすると、このとき、角度 θ_0' 及び ϕ の関係は、スネルの法則から式（3）のように表せる。

【0048】

$$n \cdot \sin \theta_0' = \sin \phi \quad (3)$$

また、透明基板2の中での光の等価波長 λ_2' は、次式（4）で表せる。

【0049】

$$\lambda_2' = \lambda_2 / n \quad (4)$$

従って、波長 λ_2' が波長 λ_1 に実質的に等しく、そして θ_0' が θ_0 に実質的に等しくなるように、屈折率n及び入射角 ϕ を選択することにより、反射膜1による透明基板2の中での波長 λ_2' の光の回折は、透明基板2を介さない波長 λ_1 の光の回折と実質的に同じものとなる。回折素子30は、波長 λ_1 及び λ_2 の光の両方に対して、同様の回折効率を有する反射型回折格子として機能する。

また、格子溝の形状を表裏対称に形成すれば、回折素子

30は、波長 λ_1 に対しても、波長 λ_2 に対する分光特性と同じ分光特性を有することになる。

【0050】なお、透明基板2の裏面32は平面とすることが望ましい。裏面32の格子溝配列方向に対する方向（角度）は、格子溝配列方向と必ずしも平行である必要はない。例えば、図1（b）に示すようなプリズム状の形状の透明基材21の一面31に格子溝を刻印して回折素子33を構成することもできる。

【0051】このように、本実施例によれば、格子溝が刻印されている面（反射膜1）の表裏両面に入射される異なる波長の光に対して分光特性を同じくすることができ、1つの素子で2つ以上の波長帯に利用可能な回折素子を構成することができる。

【0052】（実施例2）図2は、本発明の第2の実施例の回折素子20を示している。回折素子20は、透明基板2の裏面32に反射防止膜4を備えている。その他の点は実施例1で説明した回折素子30と同様である。

【0053】数式（3）から分かるように、一般に、波長 λ_2 の光が透明基板2の裏面32（41）に入射する角度 ψ は、透明基板2の中を伝搬して反射膜1に入射する角度 θ よりも大きくなるため、波長 λ_2 の光は裏面32で反射され易い。そこで、透明基板2の裏面に反射防止膜4をもうけて裏面41とすることにより、透明基板2へ入射する光の透過強度を高める事が出来る。

【0054】波長 λ_2 の光が、入射角 θ で反射膜1に入射し、回折角 α' で回折される場合には、式（1）と同様に、次式（5）をみたとす。

【0055】

$$\sin\theta_0 + \sin\alpha' = \lambda_2 / d \quad (5)$$

ここで、波長 λ_2 の光が反射膜1で回折されずに全て反射されるならば、波長 λ_2 の回折光の回折角 α' は、次

$$n_1 \cdot \sin\theta' = \sin\psi$$

透明保護層5の中を伝搬する光の等価波長 λ_2' は次式 ※ ※（10）で与えられる

$$\lambda_2' = \lambda_2 / n_1$$

従って、 $n_1 = \lambda_2 / \lambda_2'$ であるような屈折率 n_1 を有する透明保護層5を用い、 $\theta' = \theta$ （ $= \theta_1$ ）となるように入射角 ψ を調節することにより、回折格子34に入射した波長 λ_2 の光は、第1の実施例の回折素子30に入射した波長 λ_1 の光が回折される場合と同様の回折効率及び分光特性で回折される。

【0062】透明基板2中に於ける入射光の振舞いは、透明基板2の屈折率を n として、第1の実施例と同様に式（3）及び（4）で表せる。

【0063】また、波長 λ_2 の光が角度 ψ で回折素子34の上面51に入射し、保護層5中を伝搬して反射膜13に角度 θ' で入射した光が、反射膜1で回折されずに全反射される条件は、実施例2で説明したのと同様に、以下のようにして求められる。透明保護層5の中に於いて、等価波長 $\lambda_2'' = \lambda_2 / n_1$ 及び等価波長 $\lambda_2' = \lambda_2 / n_1 = \lambda_2$ について、式（7）が成り立つので、

*式（6）をみたしている。但し、 $\lambda_2 > \lambda_1$ であるとしている。

【0056】

$$\sin\alpha' > 1 \quad (6)$$

入射角 θ はリトロ角 θ_1 である場合には、式（2）が成り立つので、式（6）に式（5）及び（2）を代入すると、次式（7）が得られる。

【0057】

$$\lambda_2 - \lambda_1 / 2 > d \quad (7)$$

10 従って、波長 λ_1 及び λ_2 が上式（7）の関係をみたしていれば、これらの波長の多重された光が回折素子20（または30）に入射した場合、波長 λ_1 の光のみが回折され、波長 λ_2 の光は全反射される。

【0058】一方、波長 λ_2 の光が回折素子20（または30）の裏面41（32）から入射した場合には、透明基板2の屈折率 n が次式（8）

$$n = \lambda_2 / \lambda_1 \quad (8)$$

をみたしていれば、波長 λ_2 の光の透明基板中での等価波長は λ_1 となるため、波長 λ_2 で入射した光は全反射されことなく反射膜1で回折される。

【0059】（実施例3）次に、本発明の第3の実施例の回折素子34について図3を参照しながら説明する。回折素子34においては、反射膜1の上面に透明保護層5が形成されている。その他の点は実施例1で説明した回折素子30と同様である。

【0060】波長 λ_2 の光が透明保護層5の上面51に入射角 ψ で入射し、透明保護層5を伝搬して反射膜1に入射角 θ' で入射するとき、透明保護層5の屈折率を n_1 とすると、入射角 ψ と θ' との関係は、次式（9）で与えられる。

【0061】

$$(9)$$

$$\lambda_2 - \lambda_1 / 2 > n_1 \cdot d \quad (10)$$

$$\lambda_2 - \lambda_1 / 2 > n_1 \cdot d \quad (11)$$

$$n = n_1 \cdot \lambda_2 / \lambda_1 \quad (12)$$

本実施例によれば、反射膜1上に透明保護層5を設けることにより、格子表面が外気より遮断され腐食などをおさえて長期にわたる使用に耐えられるようにすることができる。

40

【0064】（実施例4）図4は、本発明の第4の実施例の回折素子35を示している。回折素子35は、透明基板2の裏面32に反射防止膜4を備え、更に透明保護層5の表面51に反射防止膜6を設けている。その他の点は実施例3で説明した回折素子34と同様である。

【0065】このような構成により、回折素子35の上面52及び下面41へ入射する光の反射を抑え、効率よく透明保護層5及び透明基板2に伝搬させることができる。

50

【0066】（実施例5）図5（a）及び（b）は、本

発明の第5の実施例の回折素子36及び37を示している。回折素子36の透明基板2及び透明保護層5は、各々屈折率の異なる複数の部分から形成されている。図5(a)に示されるように、例えば、透明基板2は、屈折率 n_1 の部分及び n_2 の部分の2つ部分から形成されている。屈折率 n_1 の部分に入射した波長 λ の光は、等価波長 $\lambda' = \lambda / n_1$ ($k = 3, 4$)で回折されるため、回折素子36は、裏面32に入射する2つの波長領域 ($\lambda = n_1 \lambda_1, k = 3, 4$)の光を回折することができる。透明保護層5も同様に、屈折率 n_1 の部分及び n_2 の部分の2つ部分から形成されている場合、回折素子36は、上面51に入射する2つの波長領域 ($\lambda = n_2 \lambda_1, k = 1, 2$)の光を回折することができる。異なる屈折率を有する部分は2つに限らず、また、必要に応じて、透明基板2又は透明保護層5の一方にのみ設けることもできる。

【0067】図5(b)に示される回折素子37は、透明基板2の裏面32に反射防止膜4を備え、更に透明保護層5の表面51に反射防止膜6を設けている。その他の点は回折素子36と同様である。このような構成により、回折素子35の上面52及び下面41へ入射する光の反射を抑え、効率よく透明保護層5及び透明基板2に伝搬させることができる。反射防止膜は上面51又は下面32のどちらか一方にのみ設けてもよい。

【0068】(実施例6)次に、本発明の回折素子を用いた光合分波装置を図6を参照しながら説明する。

【0069】図6は本発明の第2の実施例の回折素子20を用いた場合の光合分波装置の構成図である。回折素子は、この他に、上述の実施例における回折素子30、または34~37を用いてもよい。回折素子20、レンズ7、第1の入力ファイバ10、及び第1の受光ファイバアレイ12はリトロ配置されている。回折素子20、レンズ9、第2の入力ファイバ11、及び第2の受光ファイバアレイ13も同様である。レンズ8は、回折素子20の反射膜1で全反射された光を第2の入力ファイバ11に導くためのものである。

【0070】第1の入力ファイバ10から出射される光は波長多重されており、例えば、図7に示されるようなスペクトル分布を有している。短波長側の波長多重光14は、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 、及び λ_4 のスペクトル成分を有する波長帯であり、長波長側の波長多重光15は、波長 $\lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$ 、及び λ_8 のスペクトル成分を有する波長帯である。以下、短波長側の波長帯を λ_1 、長波長側の波長帯を λ_2 と表すことにする。

【0071】以下、本発明の光合分波装置について、その動作を説明する。ここでは光分波器の動作について説明するが、光の入力と出力を逆にすれば、光合波器の動作も全く同様に考えることができる。

【0072】波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ で波長多重された光は、第1の入力ファイバ10から出射され、レンズ7によってコ

リメートされて、回折素子20の反射膜1を設けた格子面19に入射角 θ_1 で入射する。回折素子20の反射膜1を設けた格子面19は、短波長側の波長域 λ_1 の波長多重光14に対して、回折効率の高い波長分散能力を有している。波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の光は式(1)に従って波長分散され、再びレンズ7を介して第1の受光ファイバアレイ12のそれぞれの光ファイバに集束する。図6には、波長 λ_1 の光について模式的に示されている。このようにして、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の光は、波長分離されて受光ファイバアレイ12の各々光ファイバから出力される。一方、長波長側の波長域 λ_2 の波長多重光15は、式(7)の不等式を満足しているので、反射膜1を設けた格子面19では回折及び波長分散されずに全反射される。全反射された波長 $\lambda_5 \sim \lambda_8$ の光は、レンズ8を介して第2の入力ファイバ11に導かれる。

【0073】第2の入力ファイバ11から出射された波長多重光15は、レンズ9によってコリメートされ、回折素子20の反射防止膜4を設けた裏面41に入射角 θ_2 で入射する。透明基板2の屈折率 n は式(6)をみたしているため、波長帯 λ_2 の波長多重光15は、透明基板2を介して、反射膜1によって同様に高い回折効率で波長分散される。波長分散された各々の波長 $\lambda_5 \sim \lambda_8$ の光は、レンズ9を介して第2の受光ファイバアレイ13の各々の光ファイバに結合され、出力される。

【0074】回折素子20は、格子間隔 d が、例えば、格子溝本数が1200本/mmであるようなブレースド(blazed)回折格子を用いると、回折効率の高いものとなる。例えば、短波長側の波長域 λ_1 が $0.8 \mu\text{m}$ 帯、長波長側の波長域 λ_2 が $1.3 \mu\text{m}$ 帯であるような波長多重光の光分波を行う場合には、透明基板2の屈折率 n を $1.5 \sim 1.6$ に設定すればよい。この場合、第1の入力ファイバ10から回折素子20へ入射する光の入射角 θ_1 は約30度であり、第2の入力ファイバ11から回折素子20へ入射する光の入射角は約54度となる。透明基板2の材質としてはガラスや透明樹脂などの誘電体材料を用いればよい。

【0075】このように、本実施例によれば、1つの回折素子を用いることによって、2つの波長帯で回折効率の高い光合分波装置を得ることができる。即ち、入射光の挿入損失が低く、且つ広い帯域出波長分散を行うことができる光合分波装置を構成することができる。

【0076】(実施例7)次に、本発明のもう一つの実施例による光合分波装置について、図8(a)及び(b)を参照しながら説明する。

【0077】図8(a)及び(b)において、回折素子20、レンズ7、入力ファイバ10、及び受光ファイバ16は、リトロ配置されている。受光素子20は、回転機構部17によって、格子溝方向に平行な回転軸を中心に回転させることができる。即ち、レンズ7を介して入射する光に対して、回折素子20の表裏両面(19及

び41)を用いることができ、各々の面に入射する光の入射角を調節することができる。図8(a)は短波長側の波長域 λ_1 の波長多重光14を選択的に波長分散する場合の構成であり、図8(b)は長波長側の波長域 λ_2 の波長多重光15を選択的に波長分散する場合の構成である。回折素子は、この他に、上述の実施例における回折素子30、または34~37を用いてもよい。

【0078】以上のように構成された光合分波装置について、以下、上記図7、図8(a)及び(b)を参照しながらその動作を説明する。

【0079】図8(a)及び(b)において、波長 λ_1 ~ λ_2 で波長多重された光は、入力ファイバ10から出射され、レンズ7によってコリメートされて、回折素子20に入射する。図8(a)の場合、合分波装置は、入射光が回折素子20の反射膜1を設けた格子面19に入射角 θ で入射するように配置されている。入射角 θ が θ_0 にほぼ等しいとき、波長域 λ_1 の波長多重光14は、回折素子20によって高い回折効率で波長分散される。入力ファイバ10と受光ファイバ16とは隣接して配置されているため、式(2)で表わされる入射角度、即ちリトロー角で回折される波長の回折光のみが受光ファイバ16に結合する。このとき、波長域 λ_2 の光は、回折素子20によって回折されないため、波長域 λ_1 の光のみが、以下のようにして選択的に波長分散される。

【0080】図8(a)で、入射角 $\theta = \theta_0$ のときに波長 λ_1 の光が受光ファイバ16に結合していたとする。回折素子20を回転機構部17により反時計方向に微少に回転させ、入射角を θ_0 、 θ_1 、 θ_2 と変化させるに従い、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の光を順次受光ファイバ16に結合させることができる。

【0081】次に、長波長側の波長域 λ_2 の波長多重光15を選択的に波長分散させる場合には、回転機構部17により、入射光に対して回折素子20を裏返すように回転させ、図8(b)に示される様に配置する。これにより、入力ファイバ10から出射された波長多重光は、入射角 ϕ で裏面41に入射し、反射防止膜4及び透明基板2を介して格子面(反射膜1)に入射する。そして、波長多重光15は、波長多重光14の場合と同様に、回折素子20によって高い回折効率で波長分散される。上述したのと同様に、回転機構部17によって入射角を調節することによって、所望の波長 λ_1 ~ λ_2 の光を受光ファイバ16に結合させ、選択的に出力させることができる。

【0082】以上のように、本実施例によれば、1つの回折素子を回転させることによって、2つの波長帯において回折効率の高い波長分散を選択的にを行い、1本の受光ファイバから出力することができる。即ち、入射光の挿入損失が低く、且つ広い帯域出波長分散を行うことができる。更に、実施例6に比べ、第2の入力ファイバ及び第2の受光ファイバアレイを備える必要がない。回転

機構17としては、高精度に位置決めできるステッピングモータや、その他の回転機構を制御する各種の駆動方法によっても実現(implement)できる。

【0083】本実施例では回折素子20を回転させる例を挙げたが、入力ファイバ10や受光ファイバ16を移動させることによって同等の効果を挙げるができる。この場合、高精度な移動機構、例えばピエゾ素子等の積層形圧電素子や光ピックアップに応用されるリニアアクチュエータを用いることにより実現できる。

【0084】なお、本実施例では回折素子20を用いて説明したが、例えば、回折素子34又は35を用いた場合には、2つの波長帯だけでなく、更に多くの波長帯に於いて高い回折効率で波長分散を行うことができる。本発明は、特に0.8 μ m帯と1.3 μ m帯での多重数の多い波長多重光通信に有用である。

【0085】

【発明の効果】以上述べたところから明らかなように、本発明によれば、1つの素子で複数の波長帯に対して、高い回折効率で使用することができる回折素子を提供することができる。併せて、この回折素子を用いることにより、複数の波長帯に対して、高い回折効率で波長分散を行うことのできる光合分波装置を提供することができる。さらに、複数の回折格子を用いる必要がないため、光分波装置を簡単な構成で低価格で提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)及び(b)は、本発明の第1の実施例における回折素子の構成を示す図である。

【図2】本発明の第2の実施例における回折素子の構成を示す図である。

【図3】本発明の第3の実施例における回折素子の構成を示す図である。

【図4】本発明の第4の実施例における回折素子の構成を示す図である。

【図5】(a)及び(b)は、本発明の第5の実施例における回折素子の構成を示す図である。

【図6】本発明による光合分波装置の構成を示す図である。

【図7】波長 λ_1 ~ λ_2 の波長多重光のスペクトル分布を表す概念図である。

【図8】(a)及び(b)は、本発明によるもう一つの光合分波装置の構成を示す図である。

【図9】回折効率の波長及び格子間隔依存性を示した図である。

【図10】従来の回折素子の構成を示す図である。

【図11】従来の光合分波装置の構成を示す図である。

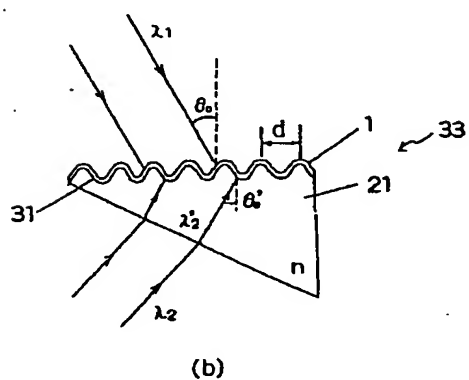
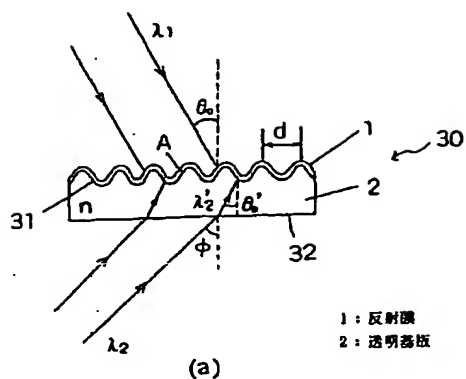
【符号の説明】

- 1 反射膜
- 2 透明基板
- 4 反射防止膜

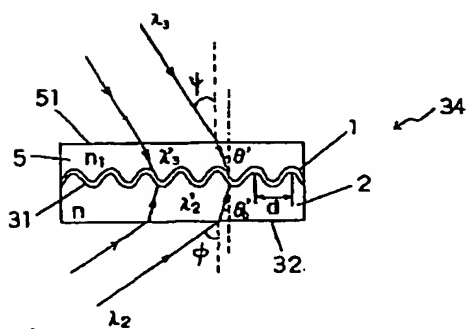
- 7 レンズ
8 レンズ
9 レンズ
10 第1の入力ファイバ

17

【図1】



【図3】



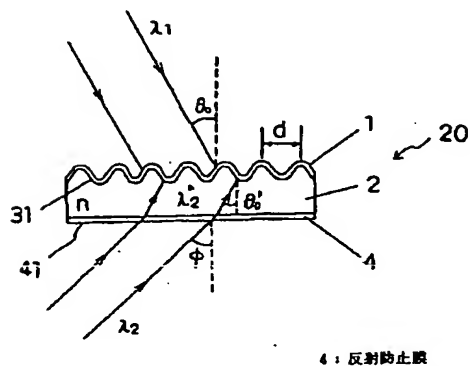
(10)

特開平6-317705

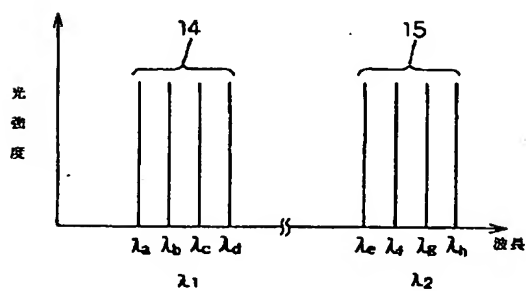
18

- * 11 第2の入力ファイバ
12 第1の受光ファイバアレイ
13 第2の受光ファイバアレイ
* 20 回折素子

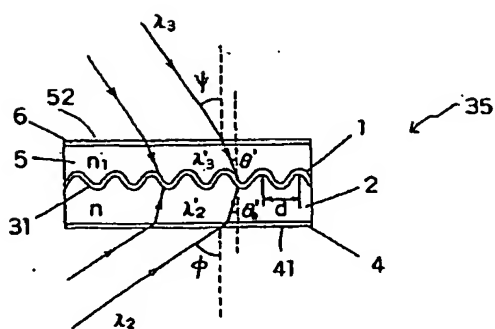
【図2】



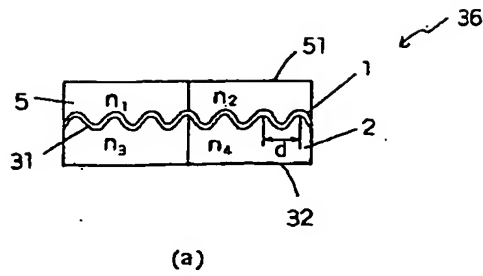
【図7】



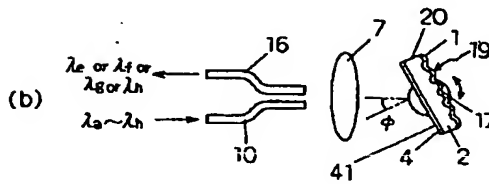
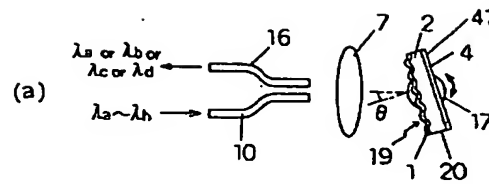
【図4】



【図5】

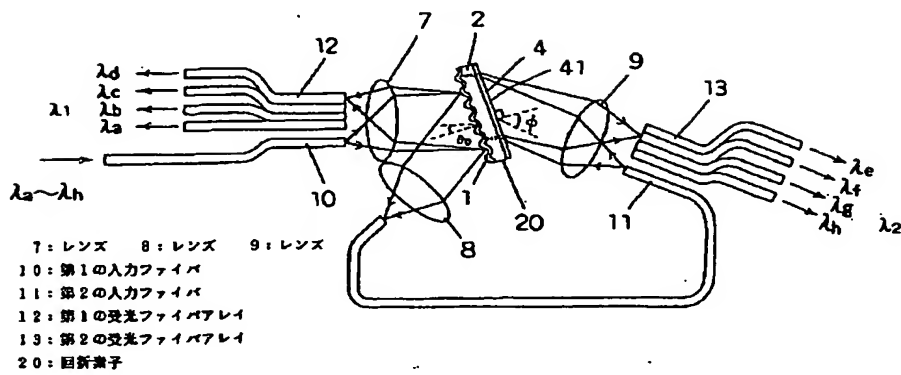


【図8】



(b)

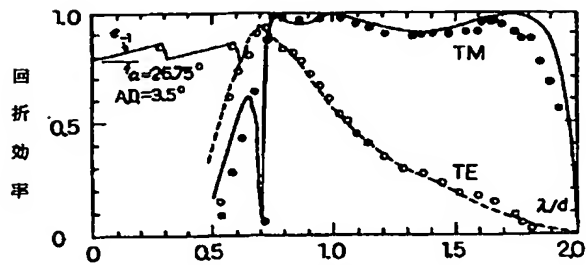
【図6】



【図10】



【図9】



波長/格子間隔

【図11】

